

## 船尾式 트롤船의 海洋波中 動搖特性에 關한 研究

강일권<sup>1)</sup> · 尹点東<sup>2)</sup>

### A Study on the Characteristics of Motion Response of Stern Trawlers in Seas

Il-Kweon Kang, Jeom-Dong Yoon

#### Abstract

It is indispensable to grasp quantitatively the seaworthiness of a ship in order to draw correct design at initial stage and to perform proper operations at sea service.

In the field of research of sea keeping quality, much development has been made in recent years using the method of calculation based on the strip theory.

It is very important to investigate the hull response of a fishing vessel in waves to ensure the safe navigation and fishing operation in rough seas by preserving excellent sea keeping qualities.

For this purpose, the author measured various responses of three fishing vessels in waves using real sea experimental measuring system.

In real sea experiments, the author used three stern trawlers, Pusan 404 (160GT), Kaya(1737GT) and Saebada(2275GT).

---

1) 경상대학교 해양과학대학 실습선 교수

2) 한국해양대학교 운항시스템공학과 교수

The experiments were carried out on board the three training vessels on the adjacent waters off Korea and the Eastern China Sea during training operations.

The author analyzed the experimental data using statistical and spectral analyzing method to get the characteristics of the motion responses of the above three different vessels in size and type.

In analyzing the observed data, some statistic considerations and the specific characteristics of Rayleigh distribution were applied using the time series analyzing methods and the strip method.

The results obtained can be summarized as follow ;

(1) The statistical distribution of pitching, rolling and heaving for each fishing vessel were found to be coincident with the Gauss distribution and the double amplitude oscillations in each motion were found to be coincident with the Rayleigh distribution.

(2) Rather higher amplitudes of pitching motion in both experiments and calculations appeared in head sea and bow sea than those in quartering sea and following sea, and rather higher amplitudes of rolling motion in beam sea and quartering sea than in bow sea regardless of ship's tonnage.

Sometimes pitching motion has more than one peak, while rolling motion has only one peak.

The band width of pitching motion was found to be wide and that of rolling motion to be narrow relatively.

(3) The comparisons of theoretical results with those of experiments for the pitching motions according to encountering wave angle show that the

theoretical values are higher than those of experiments in all directions except in beam sea and the period at which the peak appears in both calculations and experiments has good agreement in head sea and bow sea, but not in quartering and following sea.

In the rolling motions, the theoretical values are higher than those of experiments in beam sea, but good agreement in quartering sea and bow sea each other, and the period at which the peak appears has shown good agreement with those in beam sea, but not in quartering sea and bow sea.

(4) The author calculated the responses of three vessels under a assumed wave of 2.2m height and 5.0sec period and the results showed that the response of pitching motion of ship A are 4 times bigger than those of ship C in head and bow sea, and 2 times in quartering and following sea.

The response of rolling motion of ship A are 3 times bigger than those of ship C in bow sea, and 4 times in beam sea and quartering sea.

In conclusion all of the above results can be utilized for safe maneuvering and fishing operations in rough weather conditions by combining environmental circumstance with the stability condition of vessels.

## 1. 서론

대양을 항행하는 선박은 파도, 바람 및 조류 등의 외력을 받게 되며 이에 따라 여러가지 운동을 하게 되고, 또한 전단력, 굽힘모멘트 및 비틀림모멘트가 발생한다. 또한 기상이 악화되는 경우에는 slamming 등의 파랑충격, 해수침입 혹은 과도한

선체동요에 의해 선체, 화물의 손상을 입는 경우도 있다. 이와 같은 선박의 내항성(sea keeping)에 관한 제요소를 정량적으로 파악하는 것은 선박의 설계 및 선박의 안전성과 경제성을 확보하기 위해 불가결한 요소이다.

근래 들어 이른바 strip법에 기초한 이론이 정립되면서 내항성에 관한 연구가 활발하게 진행되어 그 성과가 선박 설계와 운항의 안전성 면에 크게 응용되고 있다.

strip법에 기초한 선체운동 이론은 선체를 2차원 strip의 연속체로 간주하여 근사화한 방법이며, 원리적으로는 문제가 없는 것도 아니지만 내항성능을 설명하는 유효한 수단으로 평가되고 있고, 현재 계산정도의 확인, 계산법의 향상 등에 관한 연구도 활발하게 진척되어 실용상 극히 유효한 것으로 확인되고 있다[1],[2],[3],[4].

이와같이 일반 대형 상선을 중심으로 한 내항성의 연구는 이제까지 여러 연구자들에 의해 급속히 진척되어 오고 있으나 상대적으로 파랑의 영향을 많이 받는 소형 어선에 대한 이들의 연구는 아직도 매우 부족한 실정이다.

어선은 일반상선과 다른 운항조건, 즉 각종어구, 어업기기를 선상에 배치하여 황천 중에도 조업을 하는 일이 많으며, 조업 중에 급변하는 천후에 신속히 안전대책을 강구해야 하는 경우도 자주 있다. 또한 선체 형상도 상선과는 다를 뿐만 아니라 어선 중에서도 다양한 선형을 가지고 있다. 따라서 어선의 경우는 일반 선박의 통상적인 항행성능에 부가하여 조업 수행에 따라 일어나는 복잡한 운동을 행할 때 일어나는 성능과 황천에 대한 충분한 감항 능력도 함께 보유해야 할 것으로 생각된다. 따라서 해상에 있어서 어선의 운동의 합리적인 해석 방법을 얻기 위해 과학적이고 체계적으로 연구할 필요가 있다고 생각된다.

어선의 해난사고의 대부분은 대양에 있어서 바람과 파도가 중요한 원인으로 되

고 있지만, 현실적으로 볼 때 조선자가 어로 작업에 더 큰 비중을 두고 어선의 안전성 혹은 과학성을 무시한 무리한 항행 내지 조선이 그 원인이 되는 경우가 많다.

이러한 것은 어선이 해양의 파랑, 바람, 조류 등의 환경 아래서 조업 혹은 항행 하는데 필요한 성능, 즉 어선의 내항성 파악에 소홀한 것이 그 원인의 하나로 볼 수 있다. 따라서 운항 또는 조업 중의 안전을 위하여 어선의 내항성에 대해서 다양하고 정확하게 평가해야 할 필요가 있다. 그리고 어선이 유사한 해상 조건에서 조업을 한다고 할 때 선박의 크기에 따른 내항성능의 특성을 파악해 두는 것은 안전성의 관점에서 중요한 요소의 하나가 될 것이다.

지금까지 불규칙 해양파 중에서 어선의 동요응답에 관한 연구는 주로 단일 선박에 관한 것이거나 비슷한 크기의 소형 어선에 관한 것들이며, 크기가 서로 다른 선미식 트롤선에 대한 연구나 추파 중의 동요응답에 관한 가시화된 연구는 거의 없다. 또한 국내에서 실선을 이용한 어선에 관한 동요응답의 특성에 관한 연구는 아직 없다.

이상과 같은 관점으로 본 논문에서는 어선 중에서도 그 숫자가 많은 선미식 트롤선을 대상으로 크기가 다른 3척의 어선에 대하여 항주 중 선체응답 측정실험을 실시하고 어선의 크기 변화가 응답특성에 미치는 영향을 정량적으로 파악함과 아울러 이론적으로 해석한 결과와 실선실험 결과를 비교하여 이론의 어선에의 유용성 여부를 검증하고자 한다.

## 2. 이론계산

파랑 중을 항행하는 선박의 운동과 선체에 미치는 유체력 및 파랑하중의 실용적

인 계산법으로서 이른바 strip법이 정착되어 있어, 파랑 중 운동성능의 추정, 선체 구조설계, 운항지침의 설정 등에 이용되고 있다.

strip법에는 OSM, NSM, STFM 등이 있으나 본 논문에서는 strip법 중 물리적인 의미를 가장 이해하기 쉬운 OSM을 이용한다.

6자유도의 선체운동방정식은 다음과 같다.

1) 상하동요와 종동요의 연성운동방정식

$$\begin{aligned} A_{11} \ddot{\zeta} + A_{12} \dot{\zeta} + A_{13} \zeta + A_{14} \ddot{\theta} + A_{15} \dot{\theta} + A_{16} \theta &= F_{\zeta} \\ A_{21} \ddot{\zeta} + A_{22} \dot{\zeta} + A_{23} \zeta + A_{24} \ddot{\theta} + A_{25} \dot{\theta} + A_{26} \theta &= M_{\theta} \end{aligned} \quad (2.1)$$

2) 좌우요, 선수요, 횡동요의 연성운동방정식

$$\begin{aligned} a_{11} \ddot{\eta} + a_{12} \dot{\eta} + a_{13} \eta + a_{14} \ddot{\psi} + a_{15} \dot{\psi} + a_{16} \psi + a_{17} \ddot{\phi} + a_{18} \dot{\phi} + a_{19} \phi &= F_{\eta} \\ a_{21} \ddot{\eta} + a_{22} \dot{\eta} + a_{23} \eta + a_{24} \ddot{\psi} + a_{25} \dot{\psi} + a_{26} \psi + a_{27} \ddot{\phi} + a_{28} \dot{\phi} + a_{29} \phi &= M_{\psi} \\ a_{31} \ddot{\eta} + a_{32} \dot{\eta} + a_{33} \eta + a_{34} \ddot{\psi} + a_{35} \dot{\psi} + a_{36} \psi + a_{37} \ddot{\phi} + a_{38} \dot{\phi} + a_{39} \phi &= F_{\phi} \end{aligned} \quad (2.2)$$

3) 전후요의 운동방정식

$$A_{31} \ddot{\xi} + A_{32} \dot{\xi} + A_{33} \xi = F_{\xi} \quad (2.3)$$

운동방정식의 계수  $A_{ij}$ ,  $a_{ij}$ ,  $M$ ,  $F$  등은 선체를 횡단면으로 잘라서 그 단면을 2차원의 형상으로 간주하여 이 주상체에 작용하는 유체력을 선체 전체에 걸쳐서 적분하므로써 구해진다.

운동방정식 중 radiation유체력은 특이점분포법(singularity distribution method)[5],[6]으로 구하고, 파랑강제력은 Froude Krylov힘과 diffraction힘으로 나누고 다시 diffraction 힘은 등가적인 radiation유체력으로 치환하여 구하도록 한다.

또한 불규칙파 중에서의 응답 스펙트럼의 추정은, 불규칙파 중의 선체운동은 규칙파에 대한 응답들의 선형중첩으로 얻어질 수 있다는 가정하에 규칙파 중의 주파수응답함수와 파랑 스펙트럼을 이용하여 다음과 같이 추정한다.

만남주파수  $\omega_e$ 를 가지는 규칙파의 진폭과 스펙트럼은 다음의 관계를 가진다.

$$S_{\zeta}(\omega_e) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\xi_a^2}{\delta\omega} \quad (2.4)$$

그리고 응답진폭비(RAO : response amplitude operator)는 횡동요인 경우 다음과 같이 구한다.

$$RAO = |H(\omega_e)|^2 = \left(\frac{\phi_a}{\xi_a}\right)^2 \quad (2.5)$$

만남파 스펙트럼과 응답 스펙트럼 사이의 관계는 다음과 같다.

$$S_{\phi}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \cdot |H(\omega_e)|^2 \quad (2.6)$$

식(2.6)은 종동요 및 상하동요의 경우에도 그대로 적용된다. 이식의 관계를 횡동요에 대해서 나타내면 다음과 같다.

$$S_{\phi}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \cdot \left(\frac{\phi_a}{\xi_a}\right)^2 \quad (2.7)$$

따라서 특정해역의 해상상태가 주어지면 표준 스펙트럼을 계산하는 식을 이용하여 파의 에너지 스펙트럼을 구할 수 있고, 실선시험에 의한 스펙트럼으로부터 역으로 RAO도 구할 수 있다.

본 연구에서의 파랑에 관한 자료는 실선시험에서 목적측으로 관측한 유의파고와, 평균파 주기를 이용하여 계산한 ISSC 스펙트럼을 이용한다.

추파와 추사파 중에서의 스펙트럼 계산은 동일한 만남주파수에 3개의 서로 다른 원주파수가 나타나기 때문에 주파수 범위에 따라 3개의 영역으로 나누어 계산한다.

### 3. 실선실험

실선실험은 3척의 선박, 즉 Pusan 404, Kaya, Saebada(이하 차례로 A, B, C선이라한다)를 사용하여 1994년 5월부터 1995년 7월까지 이들 선박에 승선하여 한국연근해 및 동중국해역에서 행하였으며, 실선실험에서 계측한 항목은 항주 중 파의 만남각  $180^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $315^\circ$ ,  $0^\circ$ 에 대한 종동요, 횡동요 및 상하동요의 진폭이다.

종동요와 횡동요의 계측에는 table 1에 나타낸 TCM1 electronic compass sensor module을, 상하동요의 계측에는 table 2에 나타낸 3축가속도계를 사용하였으며, 수평안정대 위에 이 계측장치를 부착시키고, 선체 중앙부 G점 상방 각각 2.0m(A선), 1.9m(B선) 1.7m(C선)에 설치하였으며, 각 항목에 대한 전체 측정시간은 10분간, Sampling 간격은 A선과 B선은 0.5sec, C선은 0.25sec로 취하고, AMP와 A/D convert를 이용하여 PC에 실시간 기록하였다. table 3은 본 연구에 사용된 실험조건이다. 그리고 table 4는 각 선박의 주요 요목이다.

실선실험에서 얻어진 자료를 스펙트럼해석 및 통계해석을 하여 OSM을 이용한



이론적 추정치와 서로 비교하므로써 실선실험 결과의 타당성 및 이론적 추정법의 타당성을 검증하도록 하고, 또한 선박의 크기에 따른 동요의 특성을 파악하도록 하였다.

Table 1. Description of TCM1 electronic compass sensor module

Heading Accuracy	$\pm 0.5^\circ$ RMS	Tilt Accuracy	$\pm 0.2^\circ$
Repeatability	$\pm 0.1^\circ$	Repeatability	$\pm 0.2^\circ$
Resolution	$0.1^\circ$	Resolution	$0.1^\circ$
Tilt Range	$\pm 25^\circ$	Tilt Range	$\pm 30^\circ$
Magnetic Field Accuracy	$\pm 0.2 \mu\text{T}$	Interfaces	RS232C
Repeatability	$\pm 0.1 \mu\text{T}$		NMEA0183
Resolution	$0.1 \mu\text{T}$		
Range	$\pm 80 \mu\text{T}$		

Table 2. Description of Triaxial Acceleration Transducers

Rated capacity : $\pm 2g$	Safe over load rating : 1000% R.C
Rated output : $0.5\text{mV/V}$	Frequency response (at $25^\circ$ ) : 0-60Hz, $\pm 5\%$ R.O
Non-linearity : 1.0% R.O	Safe temperature range : $-10^\circ \sim +60^\circ$
Hysteresis : 1.0 R.O	Damping ratio (at $25^\circ$ ) : 0.64
Bridge resistance : $120\Omega$	Natural frequency : 100Hz
Transvers sensitivity : 4%	Excitation voltage(max) : 6V

Table 3. Experimental condition

date	experimental No.	vessels	ship speed (kts)	$H_{1/3}$ (m)	wind velocity(m/s)	wind direction(°)
1994. 5.17	S-1	A선	10.9	1.5	4.0	190
1994. 5.18	S-2	"	10.9	2.0	7.5	190
1994. 5.30	S-3	"	10.6	1.5	4.5	200
1994. 11.13	S-5	"	11.1	2.5	11.0	070
1994. 11.15	S-8	"	11.2	2.5	12.0	050
1994. 12.27	S-9	B선	14.0	1.5	4.0	220
1995. 1.23	S-12	"	13.5	3.0	14.0	345
1995. 1.23	S-13	"	12.5	2.0	7.5	135
1995. 1.24	S-14	"	13.7	2.0	7.0	310
1995. 1.26	S-16	"	14.0	3.0	14.5	340
1995. 7. 6	S-17	C선	11.5	2.5	11.0	170
1995. 7.11	S-18	"	11.5	2.5	11.5	190
1995. 7.13	S-19	"	12.0	1.5	4.5	210

Table 4. Principal particulars of each vessel

ITEMS	ship-A	ship-B	ship-C
PRINCIPAL DIMENSION			
LENGTH (L.O.A)	34.0 m	81.7 m	87.71 m
LENGHT (Lpp)	30.3 m	72.5 m	81.63 m
BREADTH(MLD)	6.6 m	13.2 m	13.6 m
GROSS TONNAGE	160.4 ton	1737 ton	2275.7 ton
DISPLACEMENT	218.0 ton	2374 ton	3065.4 ton
DRAFT			
Fore	1.6 m	3.8 m	3.2 m
After	2.8 m	5.2 m	5.4 m
GM	0.45 m	0.89 m	0.82 m
KG	2.02 m	5.41 m	5.44 m
Cb	0.61	0.535	0.650
CM	0.800	0.860	0.850
MAIN ENGINE	750 HP	2976 HP	3600 HP
CRUISING SPEED	11.2 k't	13.7 k't	11.5 k't

#### 4. 결론

불규칙 해면에 있어서 선미식 트롤선의 동요응답의 특성을 파악하기 위하여 3척의 실선운동을 해상에서 계측하고 이것을 통계적 방법과 이론적인 방법을 이용하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 시계열 데이터의 확률분포를 조사한 결과 종동요, 횡동요 및 상하동요는 모두 Gauss분포를 나타내었으며, 각 동요의 극대치의 확률분포는 Rayleigh분포를 나타내었다.

(2) 종동요의 응답이 가장 큰 상대침로는 실선실험에서는 선박 크기에 관계없이 향파, 선수사파의 순서였으며, 횡파, 추사파와 추파에서는 응답이 상대적으로 작으며, 횡동요의 응답이 가장 큰 상대침로는 실선실험과 이론계산 모두 횡파이고, 그 다음으로 추사파였으며, 선수사파에서는 대체로 동요가 작게 나타난다.

응답 스펙트럼의 형상으로 볼 때 종동요의 응답은 대역폭이 넓으며 peak가 한개 이상 나타나는 경향이 있고, 횡동요의 응답은 종동요에 비해 대역폭이 좁게 나타난다.

(3) 실선실험과 이론계산에 의해 파와의 만남각에 따른 각 응답 스펙트럼의 유의치는 종동요의 응답에서는 각 선박 모두 향파, 선수사파, 추사파, 추파에서 대체적으로 이론치가 실험치보다 높았고, 특히 향파에서 그 차이가 크게 나타났다. 횡파에서는 반대로 실험치가 이론치 보다 매우 높았다. 응답 스펙트럼에 있어서 peak가 나타나는 주기는 향파와 선수사파에서 이론치와 실험치의 일치도가 좋으나, 추사파와 추파에서는 이론치가 급격한 peak를 가지는 협대역 스펙트럼으로 나타나는

반면에 실험치에서는 peak를 둔화시키면서 대역폭을 넓게 가져간다.

횡동요의 응답에서는 각 선박 모두 횡파에서 이론치가 실험치보다 높았고, 추사파와 선수사파에서는 양자 사이에 큰 차이가 보이지 않았다. 응답 스펙트럼에 있어서 peak가 나타나는 주기는 횡파에서는 이론치와 실험치의 일치도가 좋으나, 추사파와 선수사파에서는 양자간에 다소 차이를 보인다.

(4) 평균파주기 변화에 따른 응답의 유의치를 계산 한 결과 소형선은 대체로 파향과 관계없이 단 주기역에서 최대치의 동요유의치가 나타나고, 대형선의 경우 장 주기역에서 최대치의 동요유의치가 나타나게 된다. 따라서 조업해역의 평균파주기가 어떠한 값을 가지는가에 따라 응답의 유의치가 크게 달라지므로 조업 이전에 미리 응답의 유의치를 추정할 필요가 있다.

(5) 이상의 결과를 기초로 황천조업에 대하여 다음과 같이 선미식 트롤선의 크기에 따른 안전기준을 세울 수 있다.

1) G/T 200톤 내외의 소형 트롤선은 beaufort scale 5정도의 황천(파장 약 40m, 파고 약 2.5m)에서 안전에 위협을 줄 수 있는 큰 종동요 및 횡동요를 일으킬 수 있다. 따라서 beaufort scale 5이상의 황천이 되면 조업을 중단하고 황천대피에 임하여야 한다.

2) G/T 2000톤 내외의 비교적 큰 트롤선은 beaufort scale 7 이상의 황천(파장 약 80m, 파고 약 5m)에서 안전에 위협을 줄 수 있는 큰 종동요 및 횡동요를 일으킬 수 있다. 따라서 beaufort scale 7이상의 황천이 되면 조업을 중단하고 황천대피에 임하여야 한다.

3) 어선은 출어 초기에는 GM이 대체적으로 크고, 건현에 여유가 약간 있기 때

분에 기상조건에 따라 좌의 만남각에 관계없이 조업이 가능하다. 그러나 조업 말기에는 GM이 작고 권현에 여유가 적어지기 때문에 가능하면 추파 혹은 만남각도가 작은 추사파를 받는 것이 황천조업시 선박의 안전에 유리하다.

### 參 考 文 獻

- [1] 田才福造, 高木又男: “規則波中의 應答理論および計算法, 『耐航性に關する』(第1回)”, 日本造船學會, 1969.
- [2] 高石敬史, 黒井昌明: “波浪中船體運動の實用計算法, 『耐航性に關する』(第2回)”, 日本造船學會, 109-133, 1977.
- [3] 田才福造, 高木又男, 雅野昌明, 荒川廣行, 栗原直夫: “2軸高速航行中の船の縦波中の耐航性能に關する研究”, 西部造船會會報, 41號, 1971.
- [4] 日本造船研究協會 SR108 研究部會: “高速貨物船の波浪中における諸性能に關する研究報告書” 研究資料 No. 110, 125, 143, 157, 昭和45, 46, 47年 3月.
- [5] Frank, W.: Oscillation of Cylinders in or below the Free Surface of deep fluids, N.S.R.D.C. Rep. 2375, 1-24, 1967.
- [6] Maeda, H.: Wave Excitation Forces on two dimensional ship of arbitrary section, Trans. SNAJ, 126, 1-58, 1969.

